

## MAQUETTE BERNOULLI : MESURE DE DEBIT D'AIR REF. 006 037



### 1. Objet :

L'objectif de ce matériel est de comprendre et d'appliquer la relation de Bernoulli en mesurant un débit d'air à l'aide d'une soufflerie de débit environ 14 l/s et d'un tube de Venturi. Les élèves apprendront à analyser la variation de pression à travers différentes sections du tube de Venturi et à établir une relation entre ces variations et le débit d'air.

### 2. Composition :

1 Soufflerie avec un débit d'air d'environ 12 à 14 l/s : Réf. 006 039

1 Tube Venturi avec trois sections Réf. 006 038 :

- Section n°1 (30 mm de diamètre)
- Section n°2 (22 mm de diamètre)
- Section n°3 (14 mm de diamètre)

2 Capteurs manométriques de précision Plug'Uino® 0-50 hPa, Réf. 651 059 pour mesurer la pression

2 cordons de connexion SATA longueur 25 cm pour relier les 2 capteurs manométriques de précision à l'entrée externe de 2 pressiomètres Plug'Uino® Réf. 311 013 (à commander séparément) ou à un microcontrôleur Plug'Uino Py Réf. 650 003 (à commander séparément)

2 Tuyaux souples de 1 m Øext. 4 mm x Øint. 2 mm (100 cm) pour relier les capteurs de pression aux prises de pression sur le tube de Venturi.

### 3. Matériels complémentaires

Les mesures peuvent être réalisées à l'aide de différents dispositifs de mesure au choix :

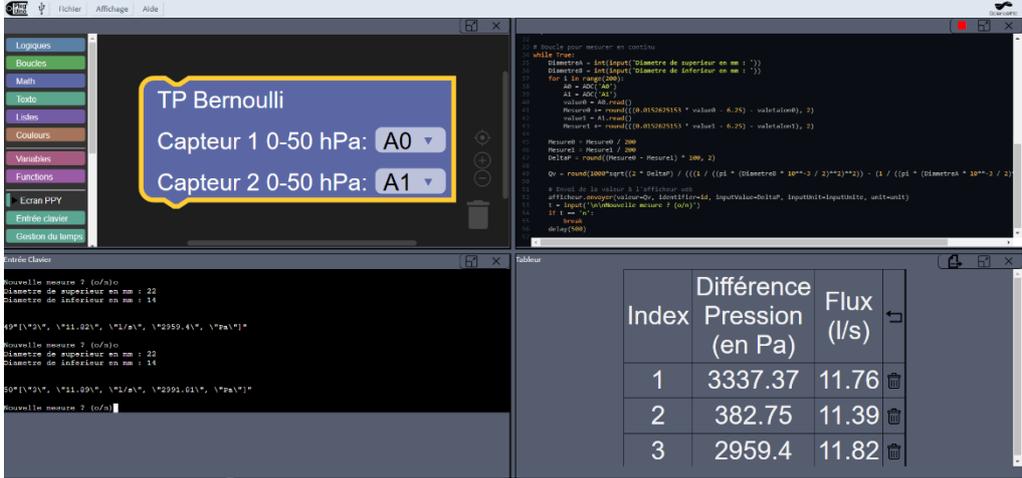
Nous proposons les 2 solutions ci-dessous :

- 1) Mesures à l'aide de 2 pressiomètres Plug'Uino® à affichage numérique (Réf. 311 013, à commander séparément)

La gamme de mesure de pression de ces appareils est -1 000 à 2 000 hPa. Ils disposent également d'une entrée externe pour utiliser les capteurs de pression 0 à 50 hPa (Réf. 651 059, fournis avec cette maquette Réf. 006 037) pour réaliser des mesures précises sur de très faibles pressions : mesures de pression hydrostatique, sur tube de Pitot ou de Venturi.



- 2) Mesures à l'aide du microcontrôleur Plug'Uino®Py (Réf. 650 005 à commander séparément) et d'un ordinateur avec l'application gratuite en ligne ExaUinoPython.

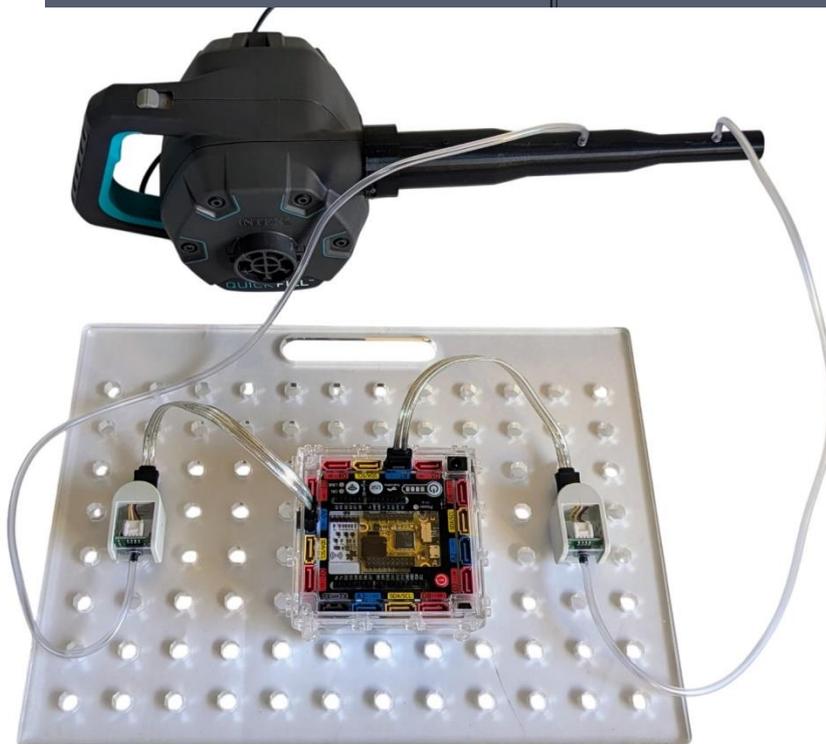


The screenshot shows the ExaUinoPython application interface. The main window displays the configuration for a Bernoulli TP measurement:

- TP Bernoulli
- Captteur 1 0-50 hPa: A0
- Captteur 2 0-50 hPa: A1

The bottom right window shows a table of measured data:

Index	Différence Pression (en Pa)	Flux (l/s)
1	3337.37	11.76
2	382.75	11.39
3	2959.4	11.82



## 4 Théorie

Le théorème de Bernoulli, pour un fluide en écoulement sans frottement, permet de dire que, aux points de mesure 1, 2 et 3 d'un tube, quelle que soit sa section, la relation ci-dessous est vérifiée :

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 = P_3 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_3^2$$

Sachant que le débit de la soufflerie  $Qv$  est constant, il vérifie toujours la relation entre la vitesse du fluide  $v$  et la section interne  $S$  du tube :

$$Qv = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = v_3 \cdot S_3 \text{ et } v_3 > v_2 > v_1, \text{ donc } P_1 > P_2 > P_3$$

On peut donc calculer le débit de la soufflerie  $Qv$  à partir des mesures de pression  $P_1$  et  $P_2$  et connaissant les sections  $S_1$  et  $S_2$  du tube :

$$v_1 = Qv/S_1 \text{ et } v_2 = Qv/S_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (Qv/S_1)^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (Qv/S_2)^2$$

$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (1/S_2^2 - 1/S_1^2) \cdot Qv^2$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (1/S_2^2 - 1/S_1^2) \cdot Qv^2$$

$$Qv = [2 \cdot \Delta P \cdot 1/\rho \cdot (1/S_2^2 - 1/S_1^2)]^{1/2}$$

$Qv$  = débit volumique du fluide en  $m^3/s$

$\Delta P$  = pression différentielle en Pa

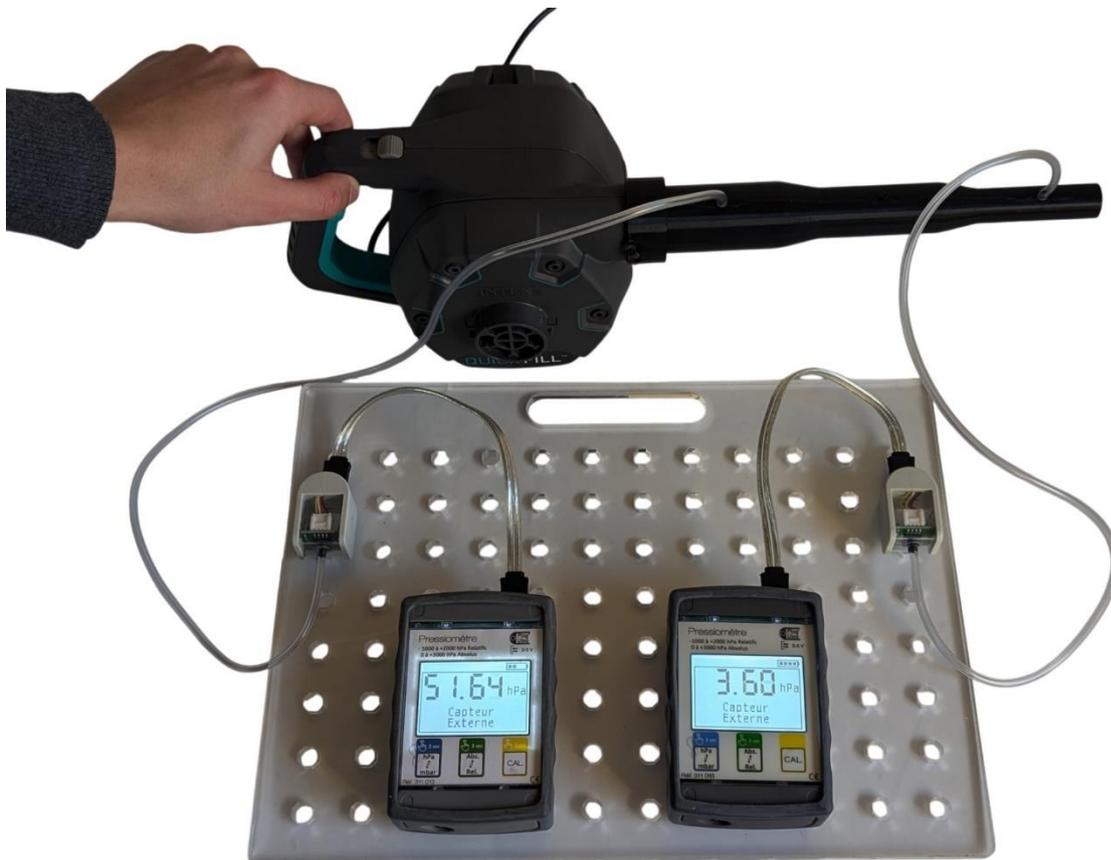
$S$  = section du tuyau en  $m^2$

$\rho$  = masse volumique de l'air en  $kg/m^3$ , soit  $1,225 \text{ kg/m}^3$  à température ambiante.

## 5 Mise en œuvre :

- 1) Connecter le tube Venturi à la sortie de la soufflerie
- 2) Relier les 2 tuyaux aux capteurs manométriques de précision 0-50 hPa
- 3) A l'aide des câbles SATA 25 cm, connecter les capteurs manométriques de précision aux entrées capteur externe des pressiomètres ou aux entrées analogiques A0 et A1 du microcontrôleur Plug'Uino®Py
- 4) Relier les tubes aux prises de pression 1 et 2
- 5) Boucher la prise de pression non utilisée
- 6) Mettre en marche la soufflerie
- 7) Attendre quelques secondes que la mesure de pression se stabilise sur les 2 pressiomètres
- 8) Relever la valeur de la différence de pression
- 9) Recommencer les mesures sur les prises de pression 1 et 3 puis 2 et 3

## 6 Exemples de résultats obtenus à l'aide des mesureurs Plug'Uino®



$P_1$ (Pa)	$P_2$ (Pa)	Delta P (Pa)	$D_2$ (m)	$D_1$ (m)	$S_2$ (m <sup>2</sup> )	$S_1$ (m <sup>2</sup> )	$Q_v$ (L/s)
5164	360	4804	0,014	0,03	0,0002	0,000707	13,96836
5300	4700	600	0,022	0,03	0,0004	0,000707	14,1119
4660	360	4300	0,014	0,022	0,0002	0,00038	14,10658

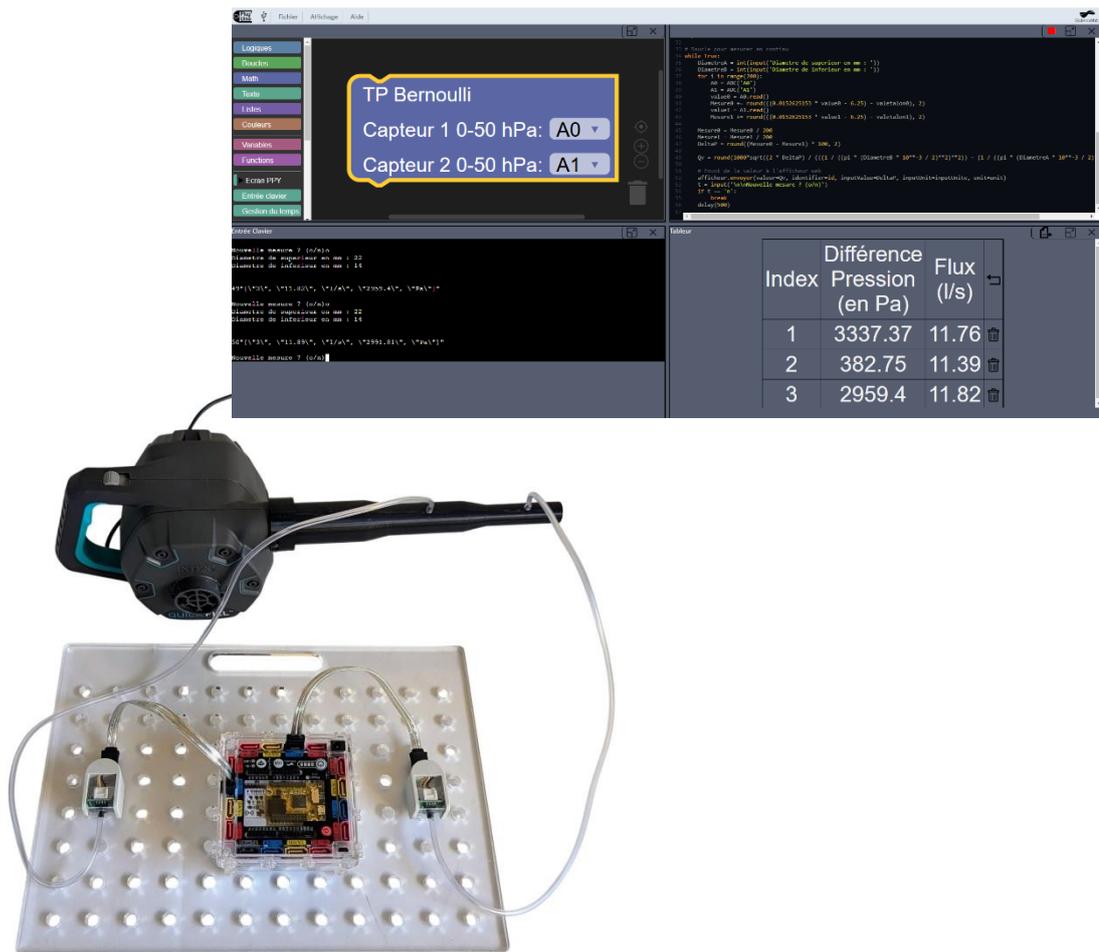
On constate que la prise des mesures est difficile car les valeurs de pressions ne sont pas stables sur les 2 écrans, la fluctuation pouvant atteindre quelques dizaines de Pascal.

Il est donc nécessaire de prendre à la volée plusieurs séries de mesures puis de calculer une moyenne.

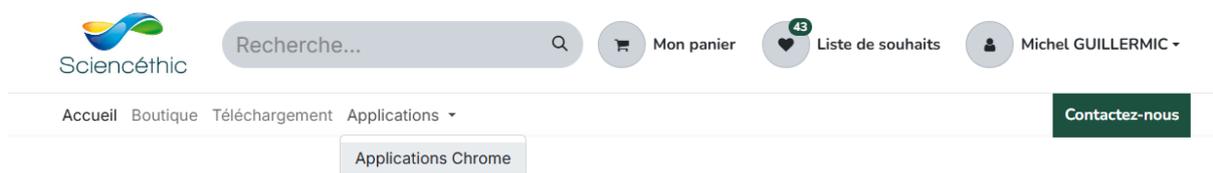
Cette fluctuation sur une même série de mesures est normale, elle est liée à plusieurs paramètres comme la précision de mesure des appareils, le montage expérimental, la sensibilité des capteurs, les turbulences dans le tube, la régularité du débit de la soufflerie etc...

***L'automatisation des prises de mesure et le calcul d'une moyenne par un programme informatique apparait donc comme nécessaire pour ce type d'expérience (voir ci-dessous).***

## 7 Exemples de résultats obtenus à l'aide de l'application ExaUinoPython



**ExaUinoPython** est une application Chrome exécutable en ligne sur notre site [www.sciencethic.com](http://www.sciencethic.com) ou directement à partir du lien <https://sciencethic.tech/>  
Elle fonctionne **uniquement avec les navigateurs Chrome, Edge ou Opera**, en utilisant le **mode de communication WebUsb** du microcontrôleur PlugUino®Py.



Sélectionner dans la barre du menu de la pages d'accueil :

**Application,**

**Applications Chrome**



MAQUETTE BERNOULLI : MESURE DE DEBIT D'AIR REF. 006 037

Toutes les applications Chrome disponibles apparaissent :

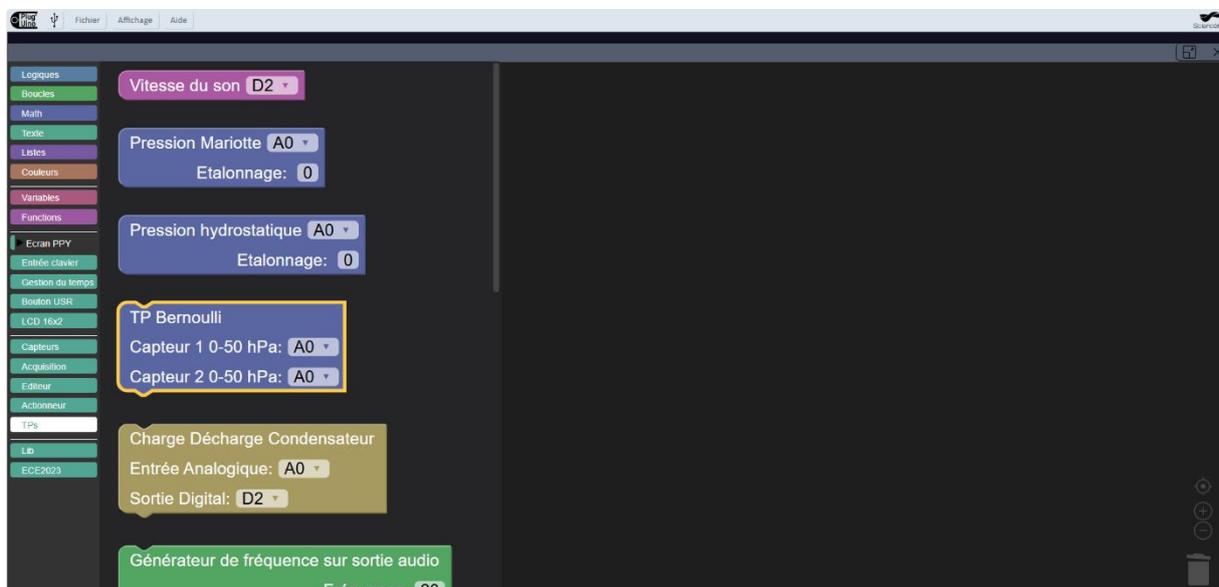


Cliquer sur **Allons-y** pour lancer l'application **ExaUinoPython**

Cette application permet d'utiliser le microcontrôleur Plug'Uino®Py Réf. 650 005, pour une multitude d'expériences assistées par ordinateur.

Généraliste et évolutive, elle lance de nombreux programmes déjà écrits en Python, pour contrôler des capteurs ou des actionneurs, spécialement dédiés aux TP de Sciences.

Dans les cas de cette **expérience de Bernoulli**, il suffit de connecter directement les 2 capteurs de pression de précision qui sont fournis avec la maquette Réf. 006 037, sur les entrées A0 et A1 du microcontrôleur, et de choisir dans le menu des TP proposés, **le bloc « TP Bernoulli »**.



Une fois ce bloc sélectionné, le programme Python associé apparaît immédiatement dans la fenêtre de l'éditeur et peut être étudié et modifié selon les objectifs pédagogiques (modification de la formule de calcul du débit, choix des entrées de mesure sur le microcontrôleur, nombre de mesures moyennées, etc...).

```

# Importation des bibliothèques nécessaires
from math import sqrt, pi
from sys import stdout
from lib import afficheurE203
from sys import stdin

# Initialisation de l'afficheur
afficheur = afficheurE203.afficheurE203()
afficheur(0)

# Paramètres de base
vitesse = 0
vitesse1 = 0
vitesse2 = 0
Reynold = 0

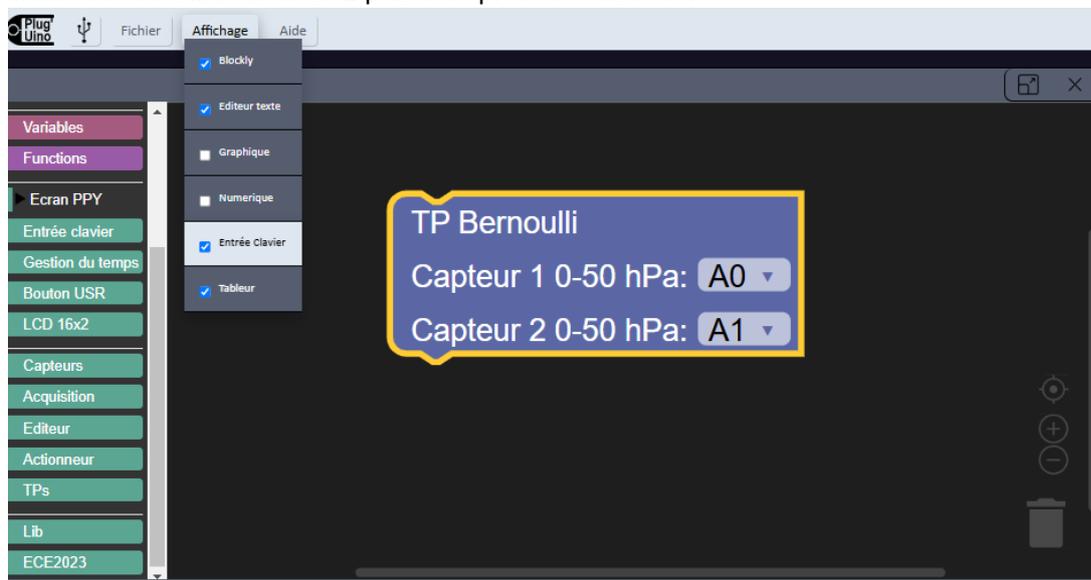
# Paramètres des capteurs
for i in range(200):
    A0 = ADC(A0)
    A1 = ADC(A1)
    valeur = A0.read()
    vitesse = round(((0.0152625153 * valeur - 6.25) - 0), 2)
    valeur = A1.read()
    vitesse1 = round(((0.0152625153 * valeur - 6.25) - 0), 2)
    vitesse2 = vitesse1 - vitesse0
    vitesse0 = vitesse1 / 200
    vitesse1 = vitesse1 / 200

# Paramètres de l'identifiant et des unités
id = 0
unit = "Pa"
vitesse0 = 0

# Module pour retourner en console
def main():
    Diametre = int(input("Diametre de superieur en mm : "))
    Diametre1 = int(input("Diametre de inferieur en mm : "))
    for i in range(200):
        A0 = ADC(A0)
        A1 = ADC(A1)
        valeur = A0.read()
        Reynold = round(((0.0152625153 * valeur - 6.25) - vitesse0), 2)
        valeur = A1.read()
        Reynold1 = round(((0.0152625153 * valeur - 6.25) - vitesse1), 2)
        Reynold = Reynold / 200
        Reynold1 = Reynold1 / 200
        DeltaP = round((Reynold - Reynold1) * 100, 2)
        Qv = round(1000*sqrt((2 * DeltaP) / ((1 / ((pi * (Diametre1 ** 3 / 2)**2)) - 1) / ((pi * (Diametre1 ** 3 / 2)**2)) + 1.2)), 2)
    # Affichage de la valeur à l'écran
    afficheur(afficheurE203.identifieur, inputValue=DeltaP, inputValue1=Qv, unit=unit)
    if True:
        break
    main()
main()

```

Pour ce bloc « TP Bernoulli » il convient d'afficher la fenêtre « **Entrée Clavier** » pour renseigner les 2 diamètres du tube selon les 2 prises de pression choisies :



La soufflerie doit être éteinte (pour permettre l'étalonnage des capteurs initial) avant de lancer le programme, à l'aide de la flèche verte en haut à droite de l'écran « Editeur ».



Puis renseigner dans la fenêtre « Entrée Clavier » les 2 diamètres du tube Venturi sur lesquels les mesures de pression sont effectuées.

```

Entrée Clavier
>>>
>>>
>>>
>>>
raw REPL; CTRL-B to exit
>OK
MPV: sync filesystems
MPV: soft reboot
raw REPL; CTRL-B to exit
>OKDiametre de superieur en mm : 30
Diametre de inferieur en mm : 18

46["\3\", \"0.28\", \"1/s\", \"0.61\", \"Pa\"]
Nouvelle mesure ? (o/n)

```

1<sup>ère</sup> série de 1 à 5 : Différence de pression entre 1 ( Ø30 mm) et 2 (Ø22 mm)

2<sup>ème</sup> série de 6 à 10 :: Différence de pression entre 1 ( Ø30 mm) et 3 (Ø14 mm)

3<sup>ème</sup> série de 11 à 15: Différence de pression entre 2 ( Ø22 mm) et 3 (Ø14 mm)

L'application calcule automatiquement le débit en litres par seconde à partir d'une moyenne de 200 mesures de pression.

Index	Différence Pression (en Pa)	Flux (l/s)	
1	390.19	11.5	
2	373.61	11.25	
3	388.47	11.47	
4	369.47	11.19	
5	386.49	11.44	
6	3403.93	11.88	
7	3434.13	11.93	
8	3469.54	11.99	
9	3464.6	11.99	
10	3465.93	11.99	
11	3063.75	12.03	
12	3081.18	12.06	
13	3101.72	12.11	
14	3087.79	12.08	
15	3094.68	12.09	

Remarque : les valeurs sont cohérentes à 4% selon le choix des 2 diamètres sur le tube Venturi. Cependant, cette valeur n'est pas aussi juste que celle donnée par un appareil de mesure étalonné, comme le pressiomètre Plug'Uino® 311 013, qui dispose d'une référence de tension calibrée. Le débit de la soufflerie est en effet probablement plus proche de 14 l/s.

La référence de tension utilisée par un microcontrôleur, comme Plug'Uino® Py, est celle de l'alimentation USB de l'ordinateur qui n'est jamais précisément 5 V et varie d'un ordinateur à un autre.

## 8 Nous contacter :

Ce matériel est garanti 2 ans. Pour toutes questions, contacter :

**sav@sciencethic.com**

[www.sciencethic.com](http://www.sciencethic.com)